

ผลของพลังงานไมโครเวฟต่อกำลังอัดและความทนทานของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอย

บุรฉัตร ฉัตรวีระ^{1*} และ วินัย หอมศรีประเสริฐ²
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดและความทนทานของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยภายใต้การกักความร้อนเนื่องจากโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบและเถ้าลอย ได้แก่ ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 1 3 และ 5 วัน ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย และคุณสมบัติด้านความทนทานซัลเฟต ได้แก่ การขยายตัวในรูปการเปลี่ยนแปลงความยาวและการสูญเสียน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยน้ำหนัก เท่ากับร้อยละ 0 และร้อยละ 20 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34

จากผลการทดสอบ พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยไมโครเวฟ คือ ใช้กำลัง 100 วัตต์ ในระยะเวลาการบ่ม 15 นาที โดยระยะเวลาก่อนการบ่มเท่ากับระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยไมโครเวฟมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ และสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ใช้วิธีการบ่มด้วยไมโครเวฟเหมือนกัน กับทั้งมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าการใช้วิธีการบ่มด้วยน้ำ ด้านความทนทานซัลเฟตพบว่าการขยายตัวในรูปของการเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์เพสต์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีค่าการขยายตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตทั้งในการบ่มด้วยไมโครเวฟและการบ่มด้วยน้ำ และซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่บ่มด้วยไมโครเวฟ จะมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักและการขยายตัวน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ

คำสำคัญ : พลังงานไมโครเวฟ / ซีเมนต์เพสต์ / กำลังอัด / ความทนทาน / เถ้าแกลบ / เถ้าลอย

* Corresponding author : cburacha@engr.tu.ac.th

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

² ผู้ช่วยวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

Effect of Microwave Energy on Compressive Strength and Durability of Cement Paste Containing Rice Husk Ash and Fly Ash

Burachat Chatveera^{1*} and Winai Homsriprasert²

Thammasat University, Rangsit Campus, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Abstract

This research is to study the compressive strength and durability of cement paste mixed with the rice husk ash (RHA) and fly ash (FA) under sodium sulfate (Na_2SO_4) and magnesium sulfate (MgSO_4) attacks with the concentration of 5% by weight. The basic properties of cement paste containing RHA and FA were tested that included strength index at the ages of 1, 3 and 5 days, setting time and sulfate resistance properties such as expansion in terms of length change and weight loss. The percentage replacements of RHA and FA by weight of Portland cement type I were 0 and 20 and ratios and water-to-binder ratios were 0.32, 0.33 and 0.34.

From the tested results, it was found that the optimum condition for microwave curing cement paste was 100 watts of microwave power, 15 minutes for curing time and final setting time for delay time. Additionally, the cement paste curing microwave had higher strength than cement paste containing RHA and cement paste containing FA. The compressive strength of microwave curing cement paste was higher than water curing cement paste. For the durability for sulfate attack, it was found that the expansion (length change) of specimens in sodium sulfate solution was more than those in magnesium sulfate solution both microwave and water curing. At the percentage replacements of RHA in Portland cement type I equal to 20 by weight for microwave curing, it was found that the weight loss and the expansion (length change) were lower than other specimens.

Keywords : Microwave Energy / Cement Paste / Compressive Strength / Durability / Rice Husk Ash / Fly Ash

* Corresponding author : cburacha@engr.tu.ac.th

¹ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.

² Research Assistant, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.

1. บทนำ

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่สำคัญต่อวงการก่อสร้างของโลกนับแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าถ้าเราสามารถนำวัสดุอื่นที่มีมูลค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์มาใช้ผสมกับปูนซีเมนต์หรือใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนนั้น จะสามารถช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างได้ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตที่ได้จากปูนซีเมนต์และวัสดุผสมคือ ความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการทนทานต่อปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพ อันได้แก่ สาเหตุทางกายภาพ ทางเคมี ทางกล ทางชีวภาพ และสาเหตุรวมตลอดอายุการใช้งาน สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความทนทานลดลงคือโครงสร้างที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีสารซัลเฟตซึ่งซัลเฟตที่พบส่วนใหญ่ในดินจะเป็นโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ในขณะที่น้ำเสียจากที่พักอาศัย น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานผลิตสารเคมีบางประเภท รวมถึงกลุ่มของโรงงานทำปุ๋ยและตามแหล่งน้ำพุร้อนธรรมชาติจะพบเป็นแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ซึ่งเกลือของซัลเฟตที่อยู่ในรูปสารละลายมีผลค่อนข้างรุนแรงต่อการกัดกร่อนคอนกรีตโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของซีเมนต์เพสต์ เมื่อเป็นเช่นนี้โครงสร้างคอนกรีตจะเกิดการผุกร่อน ขยายตัว และแตกร้าวภายในโครงสร้าง ทำให้อายุการใช้งานของโครงสร้างนั้นลดลง

จากทฤษฎีที่ว่าคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถแปลงเป็นความร้อนได้ ซึ่งเห็นได้จากการเกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุเอง โดยในกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะอาศัยการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic Conduction) และกลไกขนิດการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar Rotation) เป็นหลัก [1] โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างโมเลกุล และคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงเข้าไปกำเนิดพลังงานความร้อนภายในวัสดุ ทำให้มีความร้อนกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อวัสดุ ในขณะที่การให้ความร้อนแบบอื่นจะให้ความร้อนที่ผิววัสดุและอาจทำให้ผิววัสดุเกิดความเสียหายได้ [2]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยนำแก้วกลมและแก้วลอยมาแทนที่ในปูนซีเมนต์ โดยการบ่มจะเลือกใช้วิธีบ่มธรรมดา (บ่มน้ำ) และบ่มด้วยไมโครเวฟ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้ คือ ความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการทนทานต่อการกัดกร่อนจาก

สารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4)

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงอัดและคุณสมบัติด้านความทนทานของซีเมนต์เพสต์ที่ทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยแก้วกลมและแก้วลอยภายใต้การกระทำของสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต โดยวิธีการบ่มธรรมดา (บ่มน้ำ) และวิธีการบ่มด้วยไมโครเวฟ

3. การทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วย

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. น้ำประปา
3. แก้วกลมที่ใช้ขัดด้วยความละเอียดเท่ากับ

4,000 ตร.ซม./ก.

4. แก้วลอยที่ใช้ขัดด้วยความละเอียดเท่ากับ 4,000 ตร.ซม./ก.

5. สารละลายซัลเฟตที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1012 [3]

3.2 วิธีการเตรียมวัสดุ การผสม และการทำตัวอย่างทดสอบ

ทำการผสมวัสดุผงตามปฏิภาคส่วนผสมในตารางที่ 1 เพื่อทำเป็นซีเมนต์เพสต์ จากนั้นทำการถอดแบบเมื่อได้อายุ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำและในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 สัปดาห์ตามลำดับ โดยตัวอย่างขนาด 25x25x285 ลบ.มม. ใช้วัดการขยายตัวในรูปของการเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์เพสต์ที่แช่ในสารละลายซัลเฟต ส่วนตัวอย่างขนาด 50x50x50 ลบ.มม. ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดและการสูญเสียน้ำหนัก

ตารางที่ 1 ปฏิภาคส่วนผสมซีเมนต์เฟสที่ใช้ในการทดสอบ

ลำดับ	ส่วนผสม	w/c	ปูนซีเมนต์ (ก.)	เถ้าลอย 4,000 ตร.ชม./ก. (ก.)	เถ้าแกลบ 4,000 ตร.ชม./ก. (ก.)	น้ำ (ก.)
1	อัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 0	0.32	2,000	0	0	640
2	อัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 0	0.33	2,000	0	0	660
3	อัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 0	0.34	2,000	0	0	680
4	อัตราส่วนแทนที่ เถ้าแกลบร้อยละ 20	0.32	1,600	0	400	640
5	อัตราส่วนแทนที่ เถ้าแกลบร้อยละ 20	0.33	1,600	0	400	660
6	อัตราส่วนแทนที่ เถ้าแกลบร้อยละ 20	0.34	1,600	0	400	680
7	อัตราส่วนแทนที่ เถ้าลอยร้อยละ 20	0.32	1,600	400	0	640
8	อัตราส่วนแทนที่ เถ้าลอยร้อยละ 20	0.33	1,600	400	0	660
9	อัตราส่วนแทนที่ เถ้าลอยร้อยละ 20	0.31	1,600	400	0	680

3.3 ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าแกลบ และเถ้าลอย

จากผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าแกลบ และเถ้าลอย ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าเถ้าแกลบมีปริมาณซิลิคอนได

ออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับร้อยละ 92.04 มากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กว่า 4 เท่า และมากกว่าเถ้าลอยกว่า 2 เท่า ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM C1240 [4] ซึ่งกำหนดไว้ที่ร้อยละ 85.0

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าแกลบ	เถ้าลอย
1. ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)	21.1	92.04	40.38
2. อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	4.97	0.56	22.69
3. ไออนออกไซด์ (Fe_2O_3)	3.3	0.73	11.70
4. แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	63.89	0.60	14.55
5. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.65	0.02	3.17
6. โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.48	1.71	2.58
7. โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.18	0.04	1.56
8. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	2.88	0.01	1.76
9. ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2)	0.238	0.08	0.45
10. ปูนขาวอิสระ (Free CaO)	0.06	0.17	1.17

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าแกลบ และเถ้าลอย

คุณสมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าแกลบ	เถ้าลอย
1. ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.19	0.26	0.30
2. พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีเบลน (ตร.ซม.ต่อกรัม)	3200	4900	3376
3. ความถ่วงจำเพาะ	3.13	2.12	3.15
4. ความละเอียด (ขนาดของอนุภาค, ร้อยละค้ำง)			
- 75 ไมโครเมตร	0.98	13.00	5.25
- 45 ไมโครเมตร	7.34	30.34	3.60
- 36 ไมโครเมตร	10.94	39.00	90.62
5. ดัชนีกำลัง			
ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละเทียบเท่าตัวอย่างควบคุม)	100	82	66.36
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละเทียบเท่าตัวอย่างควบคุม)	100	86	69.01
6. ความต้องการปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	100	109	95.87

3.4 วิธีกรบมและการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานต่อซัลเฟต**3.4.1 การทดสอบการสูญเสียน้ำหนัก**

โดยใช้ซีเมนต์เพสต์ลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 ลบ.มม. มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ เถ้าลอย ร้อยละ 0 และ 20 อัตราส่วนน้ำ 0.32 0.33 และ 0.34 ตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ถอดแบบเมื่อถึงระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายแล้วนำเข้าบ่มในไมโครเวฟที่ใช้กำลัง 100 วัตต์ ในระยะเวลาการบ่ม 15 นาที แล้วนำออกมาห่อด้วยพลาสติกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ชุดที่ 2 ถอดแบบเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำก้อนตัวอย่างทั้งสองชุดไปบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตแล้วทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 สัปดาห์ ตามลำดับ

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงความยาวตามมาตรฐาน ASTM C1012

โดยใช้ซีเมนต์เพสต์ขนาด 25x25x285 ลบ.มม. มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ เถ้าลอย ร้อยละ 0 และ 20 อัตราส่วนน้ำ 0.32 0.33 และ 0.34 ตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ถอดแบบเมื่อถึงระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายแล้วนำเข้าบ่มในไมโครเวฟ 15 นาที แล้วนำออกมาห่อด้วยพลาสติกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ชุดที่ 2 ถอดแบบเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำก้อนตัวอย่างทั้งสองชุดไปบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตแล้ว

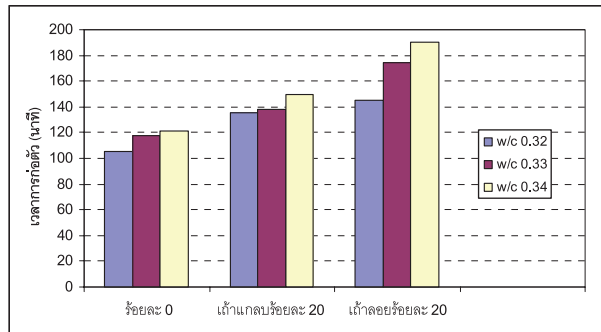
ทำการวัดความยาวโดยเครื่องวัดการยืดหดตามมาตรฐาน ASTM C1012 ที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 สัปดาห์ ตามลำดับ

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของซีเมนต์เพสต์**4.1 ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย**

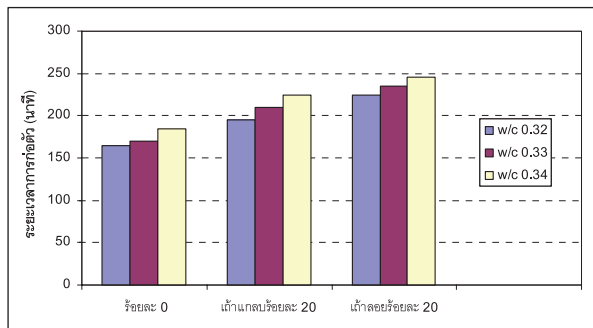
ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (w/b) เท่ากับ 0.32, 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ASTM C807 [5] พบว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 ใช้เวลาในการก่อตัวเริ่มต้นน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ตามลำดับ และซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 มีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นน้อยกว่าอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ดังแสดงในรูปที่ 1 เช่นเดียวกับระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 จะใช้เวลาในการก่อตัวระยะสุดท้ายน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ

20 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการก่อตัวเพิ่มขึ้น ประกอบกับปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากการดูดซับ

ของเถ้าแกลบและเถ้าลอย ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และเถ้าลอยร้อยละ 20 มีระยะเวลาการก่อตัวที่นานกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0



รูปที่ 1 ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 2 ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์

4.2 คุณสมบัติด้านความทนทานต่อซัลเฟต

4.2.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

ที่แช่ในสารละลายซัลเฟต

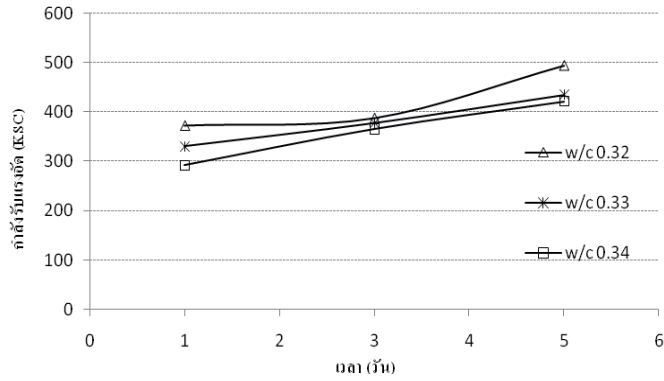
กำลังอัดเป็นการทดสอบการพัฒนา กำลังอัด โดยได้กำหนดให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 1 3 และ 5 วัน บ่มด้วยน้ำเป็นตัวเปรียบเทียบกับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนในการแทนที่ร้อยละ 0 อัตราส่วนในการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอย ร้อยละ 20 ในอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (w/c) เท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 บ่มด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 15 นาที

จากการศึกษาพบว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยนั้นเป็นการทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง และปฏิกิริยาปอซโซลานิกนั้นต้องรอสาร

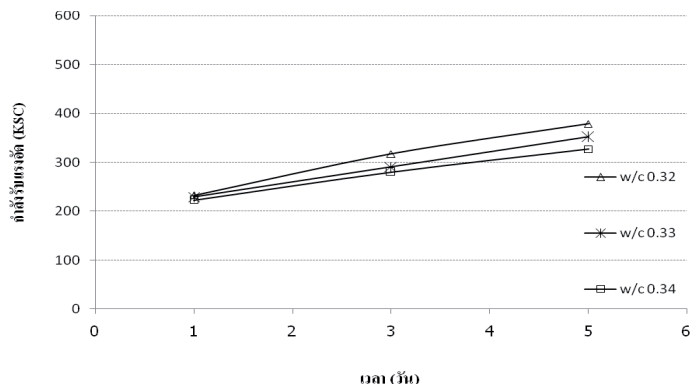
ประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้การพัฒนา กำลังในระยะแรกเกิดขึ้นช้า ดังรูปที่ 3 ที่แสดงถึงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 โดยใช้วิธีบ่มน้ำเปรียบเทียบกันพบว่าค่าดัชนีกำลังของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 ระยะเวลาบ่ม 1 3 และ 5 วัน สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.33 และ 0.34 ในระยะเวลาการบ่ม 1, 3 และ 5 วัน ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความพรุนของโครงสร้างเพิ่มขึ้น [6] หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณและขนาดของโพรงคาพิวาลรีมีมากขึ้นซึ่งมีผลต่อโอกาสที่ไอออนของซัลเฟต (SO₄²⁻) จะเข้าไปทำ

ปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ที่แตกตัว
อยู่ในเฟอิมซึน สัผลให้กำลั้งรับแรงอัดของคอนกรีตมี
ค่าลดลง [7]

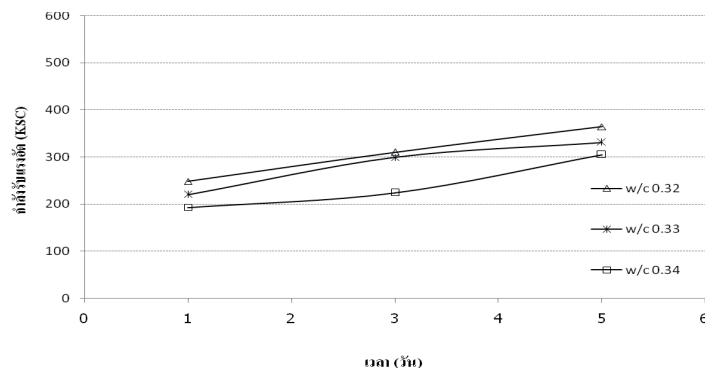
และในกรณีของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทน
ที่ด้วยเ้าแกลบและเ้าลอยร้อยละ 20 ก็จะให้ผลใน
ทำนองเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 3 ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 0 ป่มด้วยน้ำ



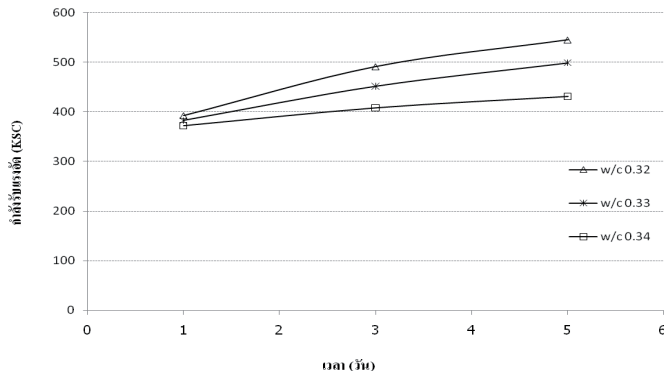
รูปที่ 4 ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนแทนที่เ้าแกลบร้อยละ 20 ป่มด้วยน้ำ



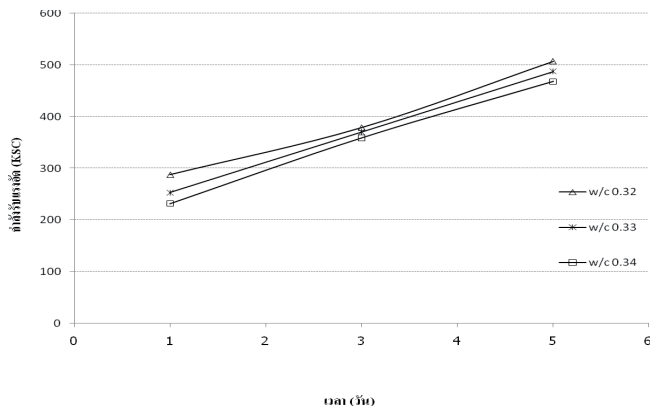
รูปที่ 5 ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนแทนที่เ้าลอยร้อยละ 20 ป่มด้วยน้ำ

จากรูปที่ 6 ถึง 8 แสดงถึงค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 ที่ป่มด้วยไมโครเวฟ พบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์จะลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่เพิ่มขึ้น (w/c) เท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34

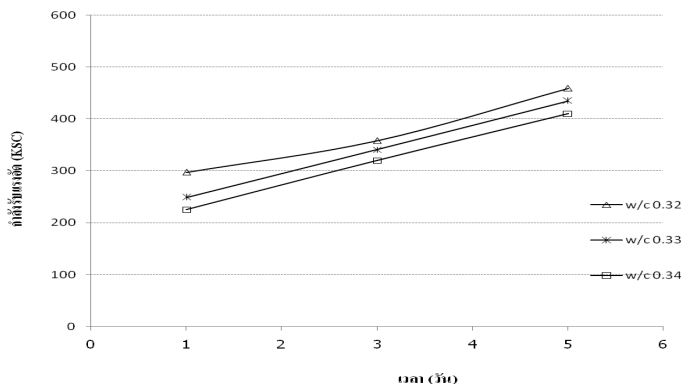
ตามลำดับ ซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และสูงกว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 20



รูปที่ 6 ค่ากำลังของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 0 ป่มด้วยไมโครเวฟ



รูปที่ 7 ค่ากำลังของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนแทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 20 ป่มด้วยไมโครเวฟ



รูปที่ 8 ค่ากำลังของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 20 ป่มด้วยไมโครเวฟ

จากรูปที่ 3 ถึง 8 พบว่าจากการนำเถ้าแกลบและเถ้าลอยแทนที่ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยไมโครเวฟมีค่ากำลังแรงอัดมากกว่า ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยน้ำ และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับ ร้อยละ 0 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด รองลงคือซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และ อันดับสุดท้ายคือซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วย เถ้าลอยร้อยละ 20 และกำลังรับแรงอัดจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

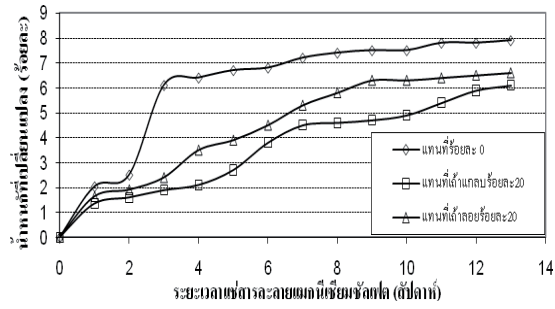
4.2.2 ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่แช่ในสารละลายซัลเฟต

จากรูปที่ 9 ถึง 12 เป็นการแสดงผลของการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยน้ำและบ่มด้วยไมโครเวฟที่อัตราส่วนการผสมและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเดียวกัน

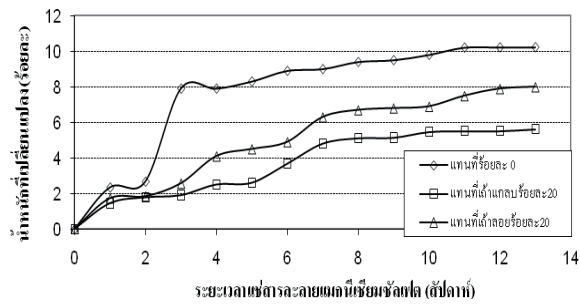
พบว่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เพสต์เกิดจากการเกิดยิปซัมและเอทริงไทต์ (Ettringite) ซึ่งมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเป็นแมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งไม่มีความสามารถในการเชื่อมประสาน [7] ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ

0 และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 จะมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ทั้งนี้เป็นผลมาจากซิลิโคนไดออกไซด์ในเถ้าแกลบทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และจากปฏิกิริยานี้เป็นการลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก [7] ซึ่งในองค์ประกอบทางเคมีก็พบว่ามีซิลิโคนไดออกไซด์ในเถ้าแกลบถึงร้อยละ 92.04 ในเถ้าลอยร้อยละ 40.38 และในขณะที่ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบเพียงร้อยละ 21.1 เท่านั้น

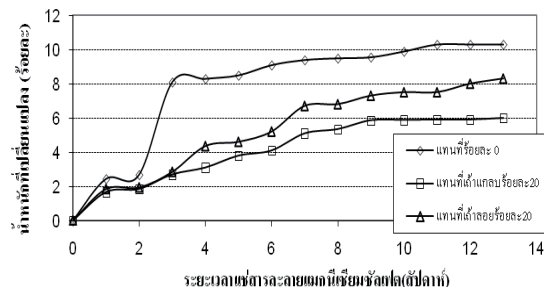
ในส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟตพบว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอย โดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในสารละลายโซเดียมซัลเฟต จะมีค่ามากกว่าในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ทั้งนี้เนื่องจากกลไกหลักในการกัดกร่อนของโซเดียมซัลเฟต คือ การก่อตัวของยิปซัมและเอทริงไทต์ ในขณะที่กลไกของแมกนีเซียมซัลเฟต คือ การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตไปเป็นแมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งไม่มีความสามารถในการเชื่อมประสาน [7] และจากการเปรียบเทียบพบว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยน้ำจะมีค่ามากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยไมโครเวฟ ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยไมโครเวฟทำให้ผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชันอยู่ในรูปของผลึกขนาดเล็กซึ่งทำให้การทำปฏิกิริยาของผลผลิตกับไอออนของซัลเฟตลดลง ความคงทนต่อซัลเฟตจึงมีมากขึ้น [8] นอกจากนี้พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 เกิดจากซีเมนต์เพสต์ที่ถูกสารละลายซัลเฟตกัดกร่อนดูดซับน้ำไว้จึงทำให้น้ำหนักของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้น



(ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.32

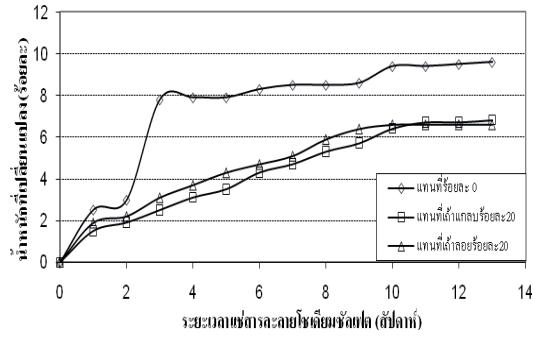


(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.33

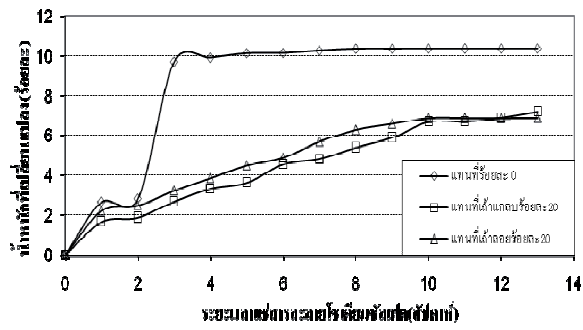


(ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.34

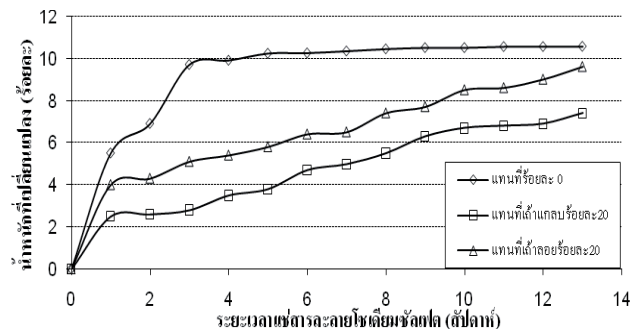
รูปที่ 9 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เฟสตีบด้วยน้ำแฉะสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



(ก) อัตราส่วนน้ำต่ออวิสดุง 0.32

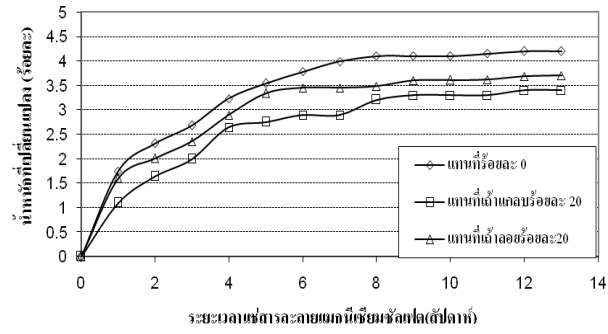


(ข) อัตราส่วนน้ำต่ออวิสดุง 0.33

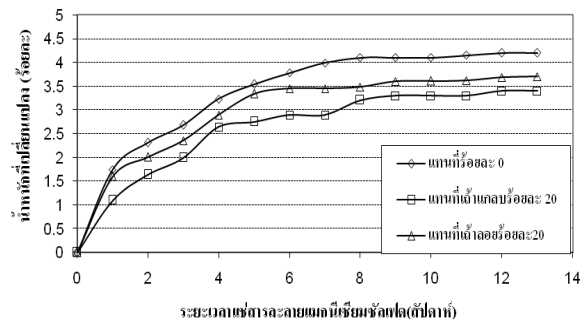


(ค) อัตราส่วนน้ำต่ออวิสดุง 0.34

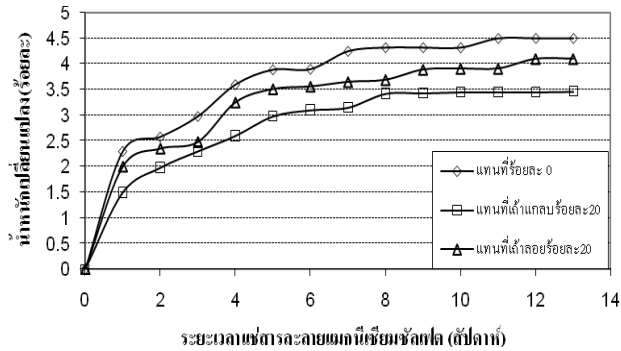
รูปที่ 10 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เพสต์บ่มด้วยน้ำแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟต



(ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.32

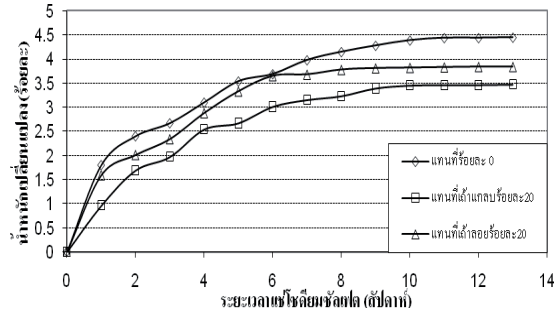


(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.33

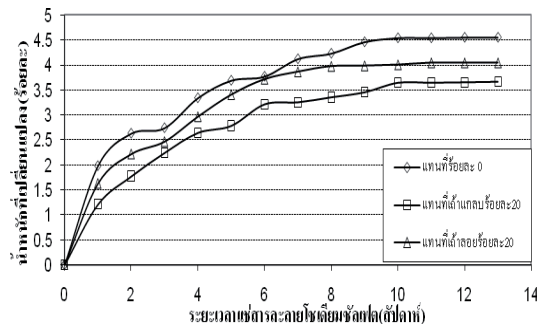


(ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.34

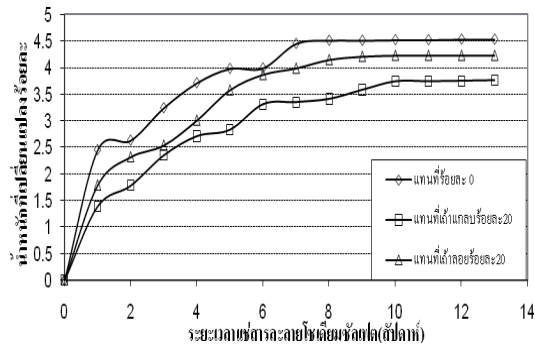
รูปที่ 11 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เฟสตีบด้วยไมโครเวฟแช่สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



(ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.32



(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.33



(ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.34

รูปที่ 12 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เพสต์บ่มด้วยไมโครเวฟแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟต

จากรูปที่ 9 ถึง 12 พบว่าจากการนำเถ้าแกลบและเถ้าลอยแทนที่ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32, 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าในส่วนของการละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และบ่มด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุด ส่วนการใช้เถ้าลอยในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่าการใช้เถ้าแกลบในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเกิดขึ้นมากที่สุดคือ การใช้อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับร้อยละ 0 ส่วนในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และบ่มด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าทำให้การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักน้อยที่สุด ส่วนการใช้เถ้าลอยในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 จะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่าการใช้เถ้าแกลบในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเกิดขึ้นมากที่สุดคือ ในอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 0 และประเด็นสุดท้าย เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทั้งที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ทั้งนี้เนื่องจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงที่ต่ำจะมีคุณสมบัติความตึงน้ำสูง ส่งผลให้ออออนของซัลเฟตซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ยากขึ้น ทำให้เป็นการลดการถูกกัดกร่อนจากซัลเฟตลง [7]

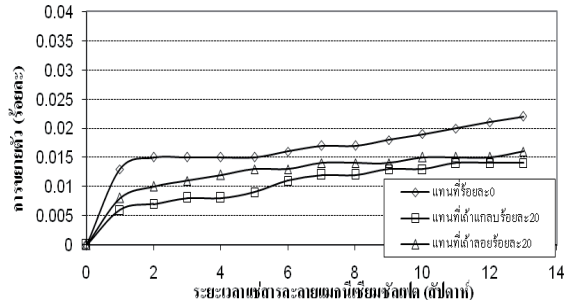
4.2.3 ผลการทดสอบการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ที่แช่ในสารละลายซัลเฟต

ผลการทดสอบการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 เปรียบเทียบกันระหว่างซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยน้ำกับซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยไมโครเวฟ

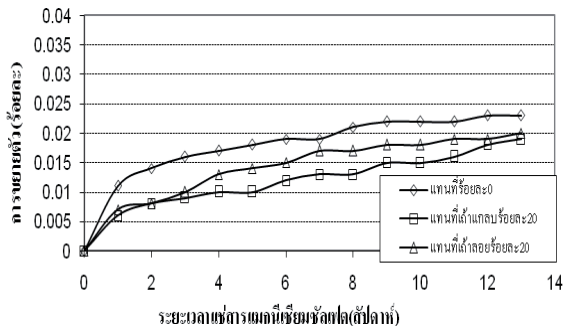
จากรูปที่ 13 ถึง 14 พบว่าการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 มีค่าการขยายตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 ทั้งนี้เนื่องจากการผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยทำให้ความเป็นต่างในซีเมนต์เพสต์ลดน้อยลงเนื่องจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้ในปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งทำให้น้ำในซีเมนต์เพสต์มีความหนาแน่นมากขึ้น จึงทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยถูกกัดกร่อนจากซัลเฟตน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 โดยกระบวนการการกัดกร่อนของแมกนีเซียมซัลเฟตเริ่มจากแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) แพร่กระจายเข้าไปในโพรงคอนกรีต แล้วเริ่มทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เหลือจากกระบวนการไฮเดรชันคือ สารประกอบปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และสารประกอบแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) เกิดเป็นยิปซัมและแคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนตไฮเดรตหรือ Ettringite [9] ซึ่งโดยธรรมชาติของ Ettringite จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของปฏิกิริยาไฮเดรชันมาก จึงทำให้ Ettringite เกิดการขยายตัว จากการเปรียบเทียบรูปที่ 9 พบว่าการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยน้ำจะขยายตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยไมโครเวฟ ดังรูปที่ 10 ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยไมโครเวฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันอยู่ในรูปของผลึกขนาดเล็ก ทำให้ซัลเฟตแทรกซึมเข้ามากัดกร่อนในเนื้อซีเมนต์เพสต์ได้ยากกว่าการบ่มด้วยน้ำ [9]

จากรูปที่ 15 ถึง 16 การขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตพบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 มีค่าการขยายตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 20 ซึ่งจากการผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยส่งผลทำให้ความเป็นต่างในซีเมนต์เพสต์ลดน้อยลง เนื่องจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้ในปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งทำให้น้ำในซีเมนต์เพสต์มีความหนาแน่นขึ้นจึงทำให้เกิดการขยายตัวน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับบ่มด้วยน้ำและไมโครเวฟพบว่าบ่มด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดการขยายตัวน้อยกว่าบ่มด้วย

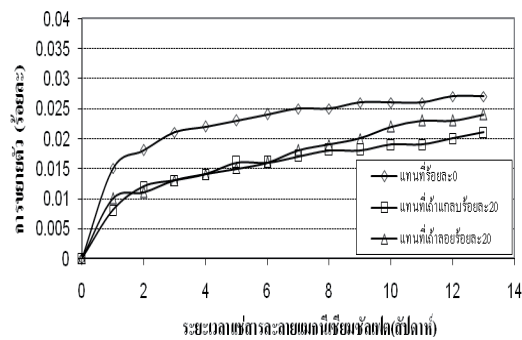
น้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มซีเมนต์เฟสด้วยไมโครเวฟทำให้ ส่งผลให้ซัลเฟตแทรกซึมเข้ามาในเนื้อซีเมนต์เฟสได้น้อย
ผลิตผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันอยู่ในรูปของผลึกขนาดเล็ก กว่าการบ่มด้วยน้ำ [9]



(ก) อัตราส่วนน้ำต่ออวิสดูผง 0.32

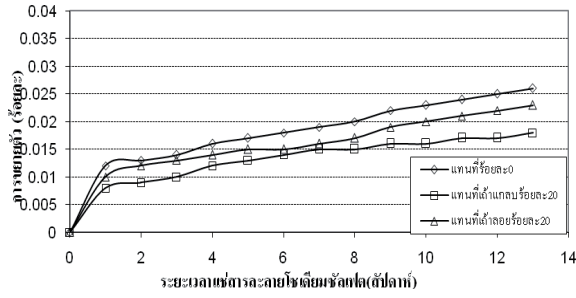


(ข) อัตราส่วนน้ำต่ออวิสดูผง 0.33

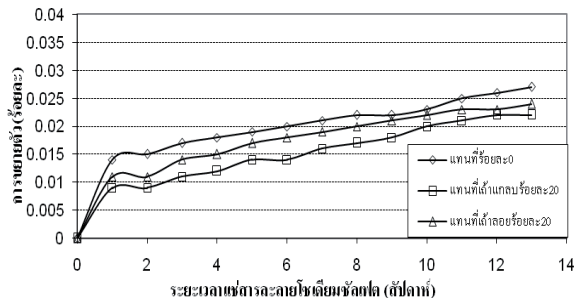


(ค) อัตราส่วนน้ำต่ออวิสดูผง 0.34

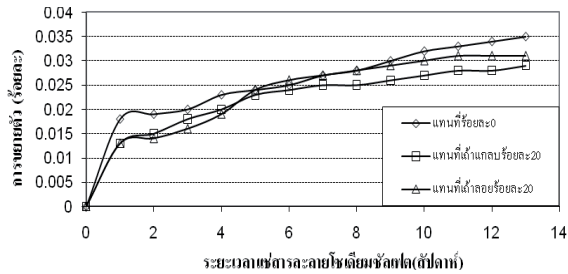
รูปที่ 13 การขยายตัวของซีเมนต์เฟสที่บ่มด้วยน้ำแช่สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



(ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.32

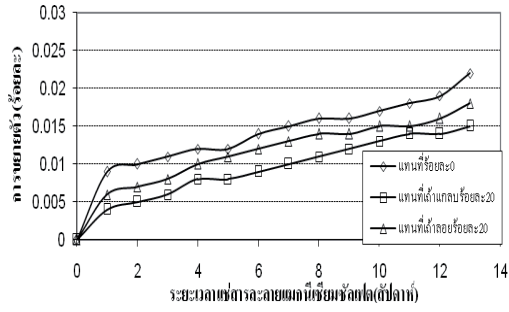


(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.33

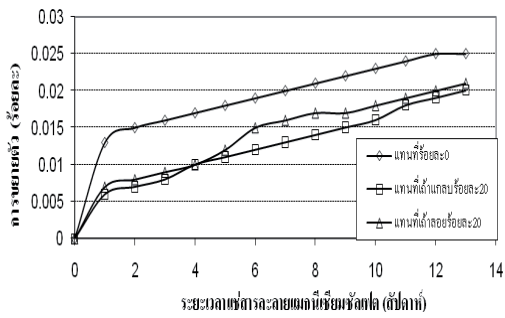


(ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.34

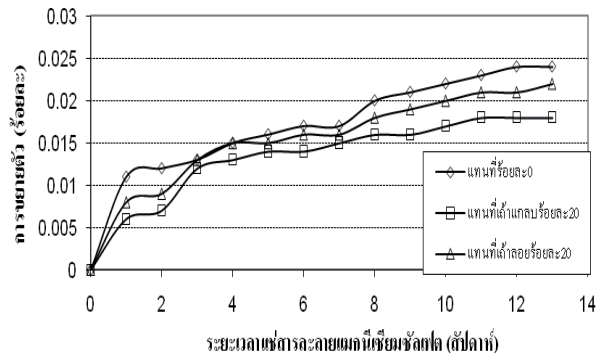
รูปที่ 14 การขยายตัวของซีเมนต์เฟสตีบมด้วยน้ำแฉะสารละลายไฮเดียมซัลเฟต



(ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.32

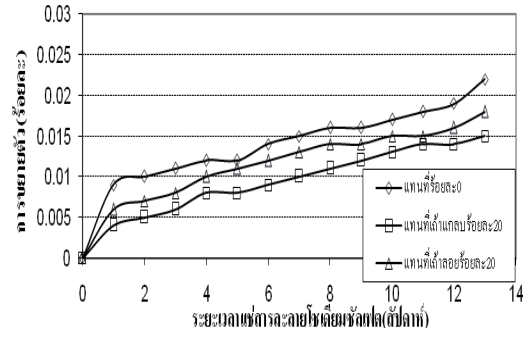


(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.33

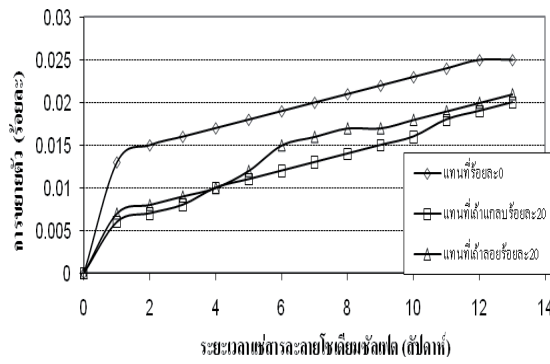


(ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง 0.34

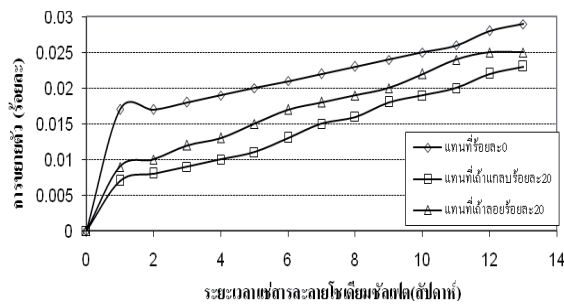
รูปที่ 15 การขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ปมด้วยไมโครเวฟแช่สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต



(ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุคอง 0.32



(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุคอง 0.33



(ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุคอง 0.34

รูปที่ 16 การขยายตัวของซีเมนต์เฟสดีปม์ด้วยไมโครเวฟแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟต

จากรูปที่ 13 ถึง 16 พบว่าจากการนำเถ้าแกลบและเถ้าลอยแทนที่ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าในส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และบ่มด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าซีเมนต์เพสต์เกิดการขยายตัวน้อยที่สุด และเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้โพรงน้ำอิสระที่เหลือจากปฏิกิริยามีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโพรงและช่องว่างเพิ่มขึ้น ทำให้การซึมผ่านของไอออนของซัลเฟตเข้าสู่ภายในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ง่ายขึ้นเป็นการเพิ่มสภาวะการถูกกัดกร่อนจากซัลเฟต [7]

5. บทสรุป

จากการนำเถ้าแกลบและเถ้าลอยแทนที่ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.32 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยไมโครเวฟมีค่ากำลังแรงอัดมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยน้ำ และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับร้อยละ 0 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด รองลงคือซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 และอันดับสุดท้ายคือซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และกำลังรับแรงอัดจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ในส่วนของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และบ่มด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าทำให้การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและการขยายตัวมีค่าน้อยที่สุด ส่วนการใช้เถ้าลอยในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 จะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่าการใช้เถ้าแกลบในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 ส่วนการ

เปลี่ยนแปลงน้ำหนักเกิดขึ้นมากที่สุดคือ การใช้อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับร้อยละ 0 ส่วนในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และบ่มด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าทำให้การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและการขยายตัวน้อยที่สุด ส่วนการใช้เถ้าลอยในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 จะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่าการใช้เถ้าแกลบในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และ ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเกิดขึ้นมากที่สุดคือ ในอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 0 และประเด็นสุดท้าย เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทั้งที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4)

6. ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาหัวข้อวิจัยเดียวกันนี้ควรมีการเปลี่ยนแปลงจากซีเมนต์เพสต์เป็นมอร์ตาร์ และกำลังวัตต์ของพลังงานไมโครเวฟควรเปลี่ยนเป็น ระหว่าง 1,500 - 1,800 วัตต์ เพื่อให้สอดคล้องกับกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่ใช้ในปัจจุบัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพัชรภรณ์ เกื้อลาย และคุณพัชรินทร์ เกื้อลาย ที่ช่วยดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการ บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ได้อนุเคราะห์ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าแกลบและเถ้าลอย และคุณสิริธร จิตตารีย์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกเรื่องข้อมูล

8. เอกสารอ้างอิง

1. Sutton, W.H., 1989, "Microwave Processing of Ceramic Materials", *Ceramic Bulletin*, Vol. 68, No. 2, pp. 376-386.
2. Chatveera, B., Atong, D., Rattanadecho, P., Makul, N., and Suwannapum, N., 2007, *Utilization of Microwave Energy for Improving Mechanical*

Properties of Concrete, Pamphlet National Metal and Materials Technology Center. (In Thai)

3. American Society for Testing Materials, 2003, "ASTM C 1012 : Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution", *Annual Book of ASTM Standard* Vol 4.02 Philadelphia, PA, USA.

4. American Society for Testing Materials, 2003, "ASTM C1240 - 10a Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures", *Annual Book of ASTM Standard* Vol 4.02 Philadelphia, PA, USA.

5. American Society for Testing Materials, 2003, "ASTM C807 - 08 : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle", *Annual Book of ASTM Standard* Vol 4.02 Philadelphia, PA, USA.

6. Halse, Y. and Pratt, P.L., 1984, "Development

of Microstructure and Other Properties on Fly Ash OPC Systems", *Cement and Concrete Research*, Vol. 14, No. 4, pp. 491 - 498.

7. Chatveera, B. and Homsriprasert, W., 2009, "Compressive Strength Loss Weight Loss and Expansion of Concrete Containing Ground Black Rice Hush Ash and Silica Fume under Sulfate Solution Attacks", *KMUTT Research and Development Journal*, Vol. 32, No. 4, pp. 373 - 391. (In Thai)

8. Wu, X., Dong, J., and Tang, M., 1987, "Microwave Curing Technique in Concrete Manufactory", *Cement and Concrete Research*, Vol. 17, pp. 205 - 210.

9. Djuric, M., 1996, "Sulfate Corrosion of Portland Cement-Pure and Blended with 30% of Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No 9, pp 1295 - 1300.